УДК 556.3

МНОГОЛЕТНИЕ ИЗМЕНЕНИЯ УРОВНЕЙ ПОДЗЕМНЫХ ВОД ВЕРХНЕЙ ГИДРОДИНАМИЧЕСКОЙ ЗОНЫ НА ТЕРРИТОРИИ ТОМСКОЙ ОБЛАСТИ

О.Г. Савичев, Ю.В. Макушин*

Томский политехнический университет
*ОГУП Территориальный центр "Томскгеомониторинг"
E-mail: OSavichev@mail.ru; Makushin@tgm.ru

Проведено исследование изменения уровней ненарушенных хозяйственной деятельностью подземных вод верхней гидродинамической зоны на территории Томской области. Исходной информацией послужили данные Территориального центра "Томскгеомониторинг" и Томской геолого-разведочной экспедиции об уровнях подземных вод по 10 режимным скважинам в селах Напас, Средний Васюган, Подгорное, Пудино, Белый Яр, Зырянское за период с 1960–1970 гг. по 2003 г. включительно. В результате по всем 10 скважинам обнаружено нарушение однородности рядов; в большинстве случаев выявлены тенденции к заметному увеличению уровней неоген-четвертичного и палеогенового водоносных комплексов. Установлено, что наиболее выраженное изменение среднемесячных уровней подземных вод приурочено к зимним месяцам и началу весеннего половодья. В среднем рост уровней составил 0,25 м при уменьшении дисперсии среднегодовых значений на 0,04 м.

Введение

В прошлом столетии, по мнению ряда исследователей [1, 2], наметились определенные тенденции изменения в состоянии окружающей среды, из которых наиболее ярко выраженным и широко обсуждаемым стало постепенное увеличение температуры приземных слоев воздуха, в том числе и в бассейне р. Оби [3, 4]. Для полученных в XX веке многолетних рядов наблюдений за атмосферными осадками, испарением на 154 пунктах Земли и водным стоком 289 рек в 339 створах однозначно направленные тенденции, согласно [2, 5], в целом не характерны. В то же время, для годового водного стока ряда больших и средних рек Западной Сибири в 1960–1970-е гг. были выявлены нарушения однородности по дисперсии и среднему, а для меженных расходов воды – статистически значимый рост в последние 25–30 лет [6–8].

В связи с этим большой интерес представляет исследование многолетних изменений уровней подземных вод верхней гидродинамической зоны, формирующих основную часть меженного речного стока обского бассейна. В данной работе этот вопрос рассмотрен на примере Томской области, расположенной в равнинной, в значительной мере заболоченной части водосбора р. Оби в пределах участка ее среднего течения. Цель проводимых исследований заключается в выявлении многолетних изменений уровней подземных вод неоген-четвертичного и палеогенового водоносных комплексов, широко распространенных на равнинной части рассматриваемой территории для верхней гидродинамической зоне глубиной до 50 м.

Объекты и методика исследований

Исходной информацией для проведения исследований послужили данные, полученные с середины 1960-х гг. по 1995 г. Томской геолого-разведочной экспедицией (ТГРЭ), а с 1996 по 2003 гг. государственным предприятием Территориальный центр "Томскгеомониторинг" (ТЦ Томскгеомониторинг) на режимных скважинах государственной наблюдательной сети в рамках ведения мониторинга геологической среды на территории Томской области [9]. Выбор пунктов наблюдений осуществлялся, исходя из продолжительности рядов, наличия в них пропусков, отсутствия явно выраженного антропогенного воздействия на подземные воды и с учетом охвата наиболее распространенных на рассматриваемой территории четвертичных и палеогеновых водоносных отложений. Половина скважин вскрывает грунтовые воды, для которых свойственны весенне-осеннее питание при инфильтрации талых и дождевых вод и террасовый вид режима. Данные по одной скважине характеризуют междуречный вид режима грунтовых вод, а остальные скважины вскрывают напорные воды весенне-осеннего питания. В целом, исследуемые водоносные горизонты широко распространены на территории Томской области, что позволяет распространить результаты исследований на большую ее часть (за исключением юга). Описание пунктов наблюдений приведено в табл. 1, их расположение – на рис. 1, а более подробная характеристика гидрогеологических условий – в информационных бюллетенях ТЦ "Томскгеомониторинг", в частности, в [9].

Методика ведения наблюдений за уровнями подземных вод определялась нормативными документами бывшего Министерства геологии СССР, а затем Министерства природных ресурсов России и в целом в течение всего периода принципиально не менялась. Также следует отметить, что после передачи в 1996 г. функций ведения мониторинга подземных вод в ТЦ "Томскгеомониторинг" измерительные работы выполнялись в целом теми же специалистами, что и до 1996 г. Исследования многолетних изменений уровней подземных вод включали расчет среднегодовых (средних арифметических) значений и погрешностей их определения, визуальный и статистический анализ рядов среднегодовых уровней подземных вод и последующее сопоставление полученных результатов с данными о водном режиме рек, в той или иной мере связанных с исследуемыми подземными водами. Статистический анализ заключался в проверке нулевых гипотез

Таблица 1. *Пункты наблюдений за уровнями подземных вод*

№	Скважина	Населенный пункт	Возраст водоносных комплексов, тип и вид режима	Период наблюдений
1	157р	с. Напас	₽$_1$pr, напорные воды весенне-осеннего питания	1970–2003
2	124р	с. Александровское	1Q$_{III}$, грунтовые воды весенне-осеннего питания, террасовый вид	1968–2003
3	129р	с. Пудино	₽$_3$lg, напорные воды весенне-осеннего питания	1969–2003
4	169р	с. Средний Васюган	Q$_{II}$tb+2Q$_{III}$tb, грунтовые воды весенне-осеннего питания, террасовый вид	1972–2003
5	284р	с. Подгорное	₽$_2$jr+₽$_3$nm, напорные воды весенне-осеннего питания	1975–2003
6	95р	то же	Q$_{II}$tb, грунтовые воды весенне-осеннего питания, междуречный вид	1965–2003
7	94р	то же	1Q$_{III}$, грунтовые воды весенне-осеннего питания, террасовый вид	1965–2003
8	81р	с. Зырянское	то же	1965–2003
9	80р	то же	₽$_3$lg, грунтовые воды весенне-осеннего питания, террасовый вид	1965–2003
10	114р	с. Белый Яр	₽$_3$lg, напорные воды весенне-осеннего питания	1967–2003

о: 1) случайности с помощью критерия Питмена π и с использованием линейной модели вида $H_г=a \cdot t+b$, где $H_г$ – среднегодовой уровень подземных вод; t – календарный год; a и b – эмпирические константы; 2) однородности рядов наблюдений с помощью критериев Уилкоксона W и Фишера F [10, 11]. Вывод о неслучайном изменении или нарушении однородности рядов делался при уровне значимости α=5 % в случае, когда расчетная статистика (π, F) по модулю превышала соответствующее критическое значение ($\pi_{кр}$ или $F_{кр}$) или (для W) выходила за допустимые границы (W_1, W_2). Дополнительно вычислялись коэффициенты автокорреляции $r(1)$ со сдвигом 1 год и погрешности их расчета $\delta_{r(1)}=(1-r^2)/(N-1)^{0,5}$. В целом, используемая методика анализа идентична методике, изложенной в [7].

Результаты исследований

Проведенные исследования позволили выявить нарушение однородности рядов среднегодовых уровней подземных вод в течение периода с середины 1970-х до начала 1990-х гг. по данным всех 10 рассмотренных режимных скважин (табл. 2). Причем в 9 случаях обнаружено значимое увеличение среднемноголетних уровней, в 1 случае – увеличение стандартного отклонения, а в 3 случаях – его уменьшение. Нарушения однородности в основном приходятся на вторую половину 1970-х гг. – первую половину 1980-х гг. Среднее по 10 скважинам изменение уровней в течение всего периода наблюдений составило 0,25 м при средней погрешности определения среднемноголетних значений 0,09 м и уменьшении стандартного отклонения на 0,04 м.

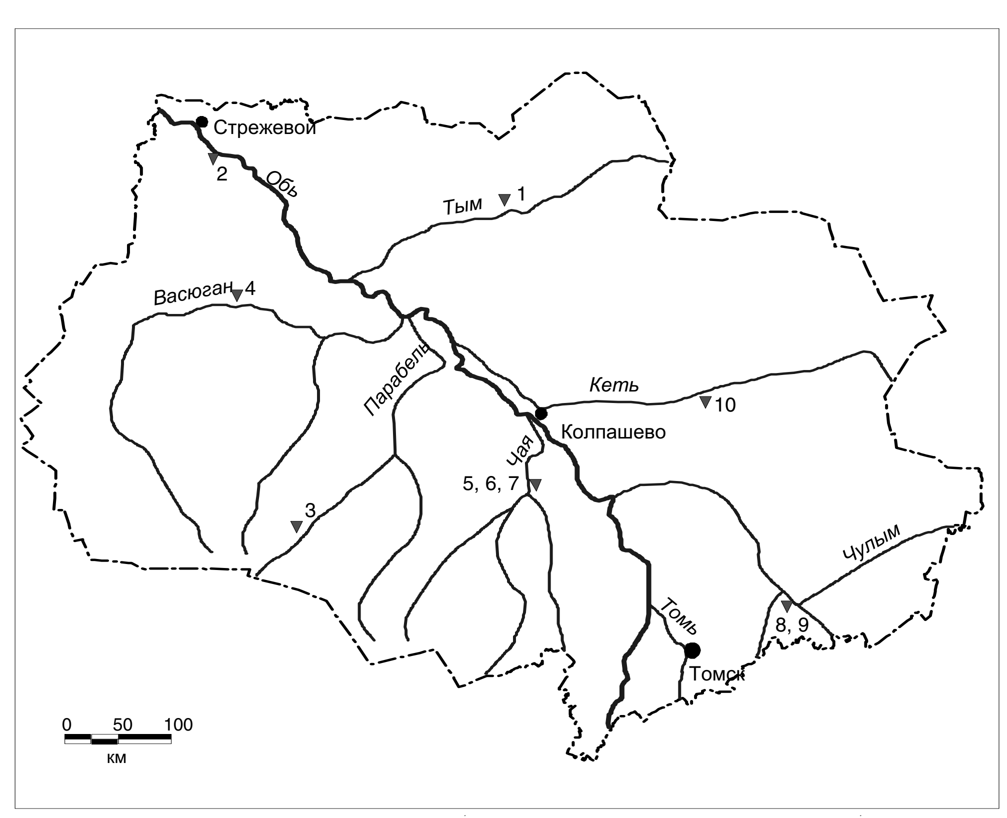


Рис. 1. *Схема расположения пунктов наблюдений, приведенных в табл. 1*

Таблица 2. *Результаты проверки рядов среднегодовых уровней (H) и глубин залегания (h) подземных вод на однородность*, м*

№	Период	№ п.	H	h	σ	W	W_1	W_2	F	$F_{кр}$
1	1971–1986	1.1	76,75	0,45	0,13	219	72,4	174,6	2,46	2,34
	1987–2003	1.2	76,91	0,29	0,08					
	1971–2003		76,85	0,35	0,13					
2	1968–1988	2.1	38,16	8,84	0,93	121	91,2	208,8	4,25	2,40
	1989–2003	2.2	38,20	8,80	0,46					
	1968–2003		38,18	8,82	0,75					
3	1969–1979	3.1	87,02	8,41	0,18	182	68,1	171,9	1,49	2,93
	1980–2003	3.2	87,22	8,21	0,20					
	1969–2003		87,20	8,23	0,20					
4	1972–1992	4.1	59,95	7,80	0,29	175	66,1	164,9	1,14	2,35
	1993–2003	4.2	60,26	7,49	0,32					
	1972–2003		60,06	7,69	0,32					
5	1975–1992	5.1	74,88	36,30	0,30	147	51,8	135,2	1,62	2,50
	1993–2003	5.2	75,20	35,98	0,39					
	1975–2003		75,00	36,18	0,36					
6	1965–1974	6.1	69,67	41,68	0,36	208	84,1	205,9	1,05	2,90
	1975–2003	6.2	70,04	41,31	0,28					
	1965–2003		69,78	41,57	0,35					
7	1965–1976	7.1	63,96	8,01	0,66	229	97,6	226,4	1,28	2,18
	1977–2003	7.2	64,42	7,55	0,55					
	1965–2003		64,28	7,69	0,61					
8	1965–1980	8.1	99,72	7,50	0,21	253	115	252,6	5,63	2,31
	1981–2003	8.2	99,95	7,27	0,48					
	1965–2003		99,86	7,36	0,40					
9	1965–1975	9.1	99,69	7,80	0,27	218	91,2	216,8	2,45	2,72
	1976–2003	9.2	99,94	7,55	0,40					
	1965–2003		99,87	7,62	0,38					
10	1967–1983	10.1	76,83	6,66	0,35	206	88,8	205,2	4,47	2,46
	1984–2003	10.2	76,97	6,52	0,17					
	1967–2003		76,89	6,60	0,30					

** уровни приведены в м балтийской системы (БС); σ — стандартные отклонения уровней; W, W_1, W_2, F, $F_{кр}$ — фактические и критические значения критерия Уилкоксона (W) и Фишера (F); нумерация соответствует пунктам в табл. 1*

Таблица 3. *Результаты проверки среднегодовых уровней подземных вод на случайность*

№	Период	π*	$\pi_{кр}$	$r(1)$	$\delta_{r(1)}$	Период	π	$\pi_{кр}$	$r(1)$	$\delta_{r(1)}$
1	1971–2003	6,52	2,04	0,58	0,11	1985–2003	4,80	2,11	0,40	0,20
2	1968–2003	1,39	2,05	0,47	0,13	1985–2003	1,30	2,11	0,29	0,22
3	1969–2003	0,04	2,03	0,06	0,17	1985–2003	1,63	2,11	0,42	0,19
4	1972–2003	1,74	2,04	0,59	0,12	1985–2003	4,29	2,11	0,61	0,15
5	1976–2003	2,88	2,06	0,66	0,11	1985–2003	1,99	2,11	0,70	0,12
6	1965–2003	3,78	2,03	0,74	0,07	1985–2003	1,15	2,11	0,66	0,13
7	1965–2003	3,55	2,03	0,61	0,10	1985–2003	-0,40	2,11	0,41	0,20
8	1965–2003	3,85	2,03	0,53	0,12	1985–2003	2,19	2,11	0,51	0,17
9	1965–2003	3,81	2,03	0,58	0,11	1985–2003	2,67	2,11	0,64	0,14
10	1967–2003	0,83	2,03	0,71	0,08	1985–2003	4,48	2,11	0,37	0,20

** π, $\pi_{кр}$ — фактическое и критическое значения критерия Питмена; $r_{(1)}$ и $\delta_{r(1)}$ — коэффициент автокорреляции и погрешность его определения*

Неслучайное изменение среднегодовых уровней подземных вод за весь период наблюдений выявлено по данным 6 скважин, причем во всех случаях оно связано с их увеличением. Наиболее заметный рост уровней зафиксирован в скважине 157р в с. Напас, в створе которого на р. Тым выявлено статистически значимое увеличение нормы годового речного стока и среднемесячных расходов воды с января по март [7, 8]. Также были обнаружены достаточно заметные тенденции увеличения уровней подземных вод четвертичных и верхнеэоцен-нижнеолигоценовых отложений у с. Подгорного, верхнечетвертичных отложений первой надпойменной террасы и отложений среднего олигоцена у с. Зырянского (табл. 3). Причем для протекающих в с. Подгорном р. Чае и в с. Зырянском р. Чулыме, как и для р. Тым, выявлено определенное увеличение среднемесячных расходов воды в зимнюю межень, хотя норма годового стока этих рек пока остается неизменной [8].

Таблица 4. *Среднемесячные уровни подземных вод (м БС), рассчитанные за статистически однородные периоды (нумерация в соответствие с табл. 2: №п, где № — номер временного интервала внутри периода наблюдения; п — период)*

№ п	Месяц календарного года											
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
1.1	76,65	76,70	76,67	76,72	77,26	77,07	76,69	76,69	76,65	76,69	76,72	76,71
1.2	76,80	76,77	76,77	76,89	77,34	77,26	76,87	76,79	76,78	76,82	76,86	76,83
2.1	37,13	36,89	36,67	36,90	39,49	41,21	40,51	38,64	37,96	37,69	37,71	37,50
2.2	37,12	36,78	36,61	37,02	39,66	41,00	39,94	38,26	37,84	37,74	37,75	37,51
3.1	86,95	86,95	86,87	86,94	87,17	87,23	87,08	87,01	87,05	86,98	87,05	87,59
3.2	87,10	87,03	86,99	87,12	87,46	87,46	87,36	87,27	87,23	87,20	87,19	87,12
4.1	59,81	59,71	59,61	59,54	59,99	60,30	60,14	60,06	60,02	60,02	59,98	59,94
4.2	60,13	60,01	59,90	59,85	60,24	60,62	60,52	60,38	60,35	60,37	60,37	60,27
5.1	74,84	74,80	74,76	74,73	75,02	75,11	75,02	74,96	74,89	74,86	74,87	74,84
5.2	75,07	75,04	74,98	74,99	75,39	75,41	75,24	75,23	75,17	75,17	75,28	75,26
6.1	69,41	69,37	69,39	69,43	69,56	69,75	69,78	69,70	69,59	69,58	69,54	69,48
6.2	69,75	69,73	69,72	69,72	69,83	70,03	70,05	69,96	69,85	69,82	69,81	69,80
7.1	63,50	63,47	63,51	63,63	64,42	64,92	64,66	64,28	64,01	63,79	63,78	63,89
7.2	64,05	63,99	63,94	64,03	64,88	65,30	64,83	64,48	64,27	64,15	64,20	64,14
8.1	99,04	98,87	98,78	98,88	100,58	101,45	100,63	99,96	99,54	99,29	99,19	99,15
8.2	99,30	99,15	99,04	99,23	100,82	101,61	100,75	100,16	99,78	99,60	99,52	99,50
9.1	99,03	98,88	98,78	98,97	100,88	101,65	100,74	100,07	99,62	99,36	99,28	99,22
9.2	99,28	99,12	99,02	99,20	100,91	100,53	100,69	100,07	99,72	99,53	99,48	99,46
10.1	76,68	76,62	76,58	76,57	76,88	77,29	77,19	76,97	76,84	76,79	76,78	76,70
10.2	76,81	76,72	76,69	76,76	77,14	77,44	77,37	77,14	77,02	76,96	76,92	76,88

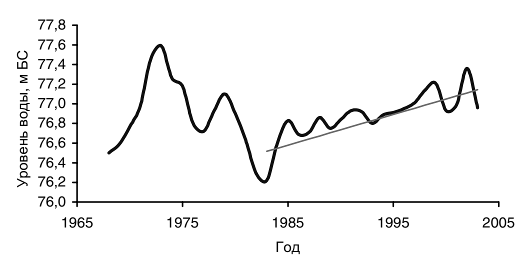


Рис. 2. *Изменение среднегодовых уровней вод палеогеновых отложений у с. Белый Яр, скв. 114р (прямой линией показан тренд уровней с середины 1980-х по 2003 гг.)*

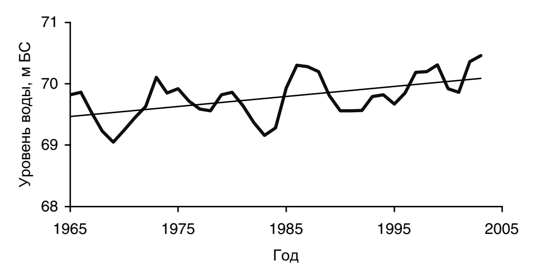


Рис. 3. *Фактическое изменение и линейный тренд среднегодовых уровней вод четвертичных отложений у с. Подгорного (скв. 95р) за многолетний период*

Таблица 5. *Приращение среднемесячных уровней подземных вод в 1980–1990-е гг. относительно средних значений для 1960–1970-х гг., %*

№	Месяц календарного года											
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
1	0,2	0,1	0,1	0,2	0,1	0,2	0,2	0,1	0,2	0,2	0,2	0,2
2	0,0	-0,3	-0,2	0,3	0,4	-0,5	-1,4	-1,0	-0,3	0,1	0,1	0,0
3	0,2	0,1	0,1	0,2	0,3	0,3	0,3	0,3	0,2	0,3	0,2	-0,5
4	0,5	0,5	0,5	0,5	0,4	0,5	0,6	0,5	0,5	0,6	0,7	0,6
5	0,3	0,3	0,3	0,3	0,5	0,4	0,3	0,4	0,4	0,4	0,5	0,6
6	0,5	0,5	0,5	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,3	0,4	0,5
7	0,9	0,8	0,7	0,6	0,7	0,6	0,3	0,3	0,4	0,6	0,7	0,4
8	0,3	0,3	0,3	0,4	0,2	0,2	0,1	0,2	0,2	0,3	0,3	0,4
9	0,3	0,2	0,2	0,2	0,0	-1,1	0,0	0,0	0,1	0,2	0,2	0,2
10	0,2	0,1	0,1	0,2	0,3	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
Среднее	0,3	0,3	0,3	0,4	0,3	0,1	0,1	0,1	0,2	0,3	0,3	0,2

В прочих случаях наиболее характерной чертой многолетних изменений уровней подземных вод является не однонаправленное их увеличение или уменьшение, а циклическое изменение с достаточно большим периодом (рис. 2, 3), причем, начиная с середины 1980-х гг. до 2003 г. происходило увеличение уровней подземных вод четвертичных и палеогеновых отложений у с. Средний Васюган, палеогеновых отложений у с. Белый Яр (табл. 3). Также следует отметить, что тенденция увеличения среднегодовых уровней подземных вод четвертичных и палеогеновых отложений у с. Подгорное за последние 18 лет стала менее выраженной, чем за весь период наблюдений с 1960 гг. (рис. 3), что объясняется формированием двух условно однородных периодов, для последнего из которых характерны более высокие значения уровней подземных вод.

На основе полученных материалов были проведены расчеты среднемесячных уровней подземных вод за статистически однородные периоды (табл. 4). Анализ полученных результатов свидетельствует о том, что примерно в последние 20 лет среднемесячные уровни подземных вод зоны активного водообмена вне участков явного антропогенного влияния повысились по сравнению с 1960–1970 гг. в среднем на 0,1...0,4 %, причем наиболее устойчивый рост характерен для зимнего сезона и начала весеннего половодья, пик которого на рассматриваемой территории приходится на конец мая – июнь (табл. 5).

Заключение

В результате проведенных исследований выявлено статистически значимое увеличение среднегодовых уровней подземных вод четвертичных и палеогеновых отложений на территории Томской области в ненарушенных хозяйственной деятельностью условиях, что совпадает с данными об увеличении зимнего меженного стока больших и средних рек региона. Можно предположить, что именно увеличение уровней подземных вод является причиной увеличения меженного стока рек, а не наоборот, поскольку наиболее заметный рост средних уровней чаще всего характерен для зимних месяцев при значительном превышении уровней (напоров) подземных вод над высотными отметками речных вод. Безусловно, полученные результаты являются предварительными и требуют уточнения на основе анализа более обширного материала по режимным скважинами. Тем не менее, уже сейчас можно считать установленным и достоверным фактом изменение водного режима рассматриваемой территории, напрямую не связанное с антропогенными факторами.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Добрецов Н.Л., Коваленко В.И. Глобальные изменения природной среды – 1998: специфика национальной программы и основные результаты // Глобальные изменения природной среды / Под ред. Н.Л. Добрецова и В.И. Коваленко. – Новосибирск: Изд-во СО РАН, 1998. – С. 7–15.
2. Раткович Д.Я. Актуальные проблемы водообеспечения. – М.: Наука, 2003. – 352 с.
3. Паромов В.В., Савельева Н.И., Василевская Л.Н. Процессы макроциркуляции и изменение речного стока в бассейнах Верхней и Средней Оби // Вестник Томского государственного университета. – 2001. – № 274. – С. 69–77.
4. Региональный мониторинг. Ч. 4. Природно-климатические изменения / Под ред. М.В. Кабанова. – Томск: МГП "РАСКО", 2000. – 270 с.
5. Раткович Д.Я., Болгов М.В. Стохастические модели колебаний составляющих водного баланса речного бассейна. – М.: ИВП РАН, 1997. – 262 с.
6. Савичев О.Г. Экология реки Томь: антропогенное загрязнение и ресурсы вод // Инженерная экология. – 1998. – № 4. – С. 25–34.
7. Земцов В.А., Паромов В.В., Савичев О.Г. Изменения водного стока крупных рек юга Западной Сибири в XX столетии // Фундаментальные проблемы воды и водных ресурсов: Матер. Всерос. научн. конф. – Томск: Изд-во НТЛ, 2000. – С. 321–324.
8. Савичев О.Г. Реки Томской области: состояние, использование и охрана. – Томск: Изд-во Томск. политехн. ун-та, 2003. – 202 с.
9. Состояние геологической среды на территории Томской области в 2001 году / Под ред. В.А. Льготина. – Томск: ТЦ "Томскгеомониторинг", 2002. – 180 с.
10. Христофоров А.В. Надежность расчетов речного стока. – М.: Изд-во МГУ, 1993. – 168 с.
11. Рождественский А.В., Чеботарев А.И. Статистические методы в гидрологии. – Л.: Гидрометеоиздат, 1974. – 424 с.